

⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑪ **DE 3540087 A1**

⑤① Int. Cl. 4:
F04D 27/00

⑳ Aktenzeichen: P 35 40 087.0
㉑ Anmeldetag: 12. 11. 85
㉒ Offenlegungstag: 14. 5. 87

Behördeneigentlich

DE 3540087 A1

⑦① Anmelder:
MAN Gutehoffnungshütte GmbH, 4200 Oberhausen,
DE

⑦② Erfinder:
Blotenberg, Wilfried, Dipl.-Ing., 4220 Dinslaken, DE

⑤⑥ Recherchenergebnisse nach § 43 Abs. 1 PatG:
DE-PS 27 35 246
DE-AS 27 39 229
DE-OS 26 23 899

⑤④ Verfahren zum Regeln von Turbokompressoren

Zum Verhindern des Pumpens eines Kompressors wird ein von dessen Auslaß abzweigendes Abblase- oder Umlaseventil durch ein von einem Regler in Abhängigkeit von der Lage des Arbeitspunktes relativ zu einer im Kennfeld definierten Abblaselinie gesteuert. Erfindungsgemäß wird der Differentialanteil des Reglerverhaltens, insbesondere die für die Differentiation maßgebliche Zeitkonstante, in Abhängigkeit von der Lage des Arbeitspunktes so gesteuert, daß nahe der Abblaselinie eine starke und in größerem Abstand von der Abblaselinie eine geringe differenzierende Wirkung vorliegt.

DE 3540087 A1

1. Verfahren zum Regeln eines Turbokompressors, bei dem einem Regler ein Eingangssignal, das vom laufend erfaßten Istwert mindestens einer Betriebsgröße, insbesondere Durchfluß, Förderdruck und/oder Druckverhältnis abgeleitet ist, zugeführt wird und der Regler durch ein eine Differentiation oder gleichwertige, die Änderungsgeschwindigkeit erfassenden Operation einschließendes Verarbeiten des Eingangssignals ein Ausgangssignal zum Steuern mindestens einer Betriebsgröße, insbesondere zum Steuern eines Ab- oder Umblaseventils am Kompressoraustrag, erzeugt, und bei dem laufend die momentane Lage des Arbeitspunktes des Kompressors im Durchsatz-Druckverhältnis-Kennfeld erfaßt und das Regelverhalten des Reglers entsprechend der Lage des Arbeitspunktes verändert wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Anteil der differenzierenden Wirkung am gesamten Reglerverhalten in Abhängigkeit von der Lage des Arbeitspunktes verändert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die für die Differentiation maßgebliche Zeitkonstante in Abhängigkeit von mindestens einer Kennfeldkoordinate des Arbeitspunktes geändert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die zum Arbeitspunkt gehörende Steigung der Kompressorkennlinie konstanter Leistung oder konstanter Schaufelstellung erfaßt und die Differenzierzeitkonstante in Abhängigkeit von der Steigung, insbesondere umgekehrt proportional zur Steigung der Kompressorkennlinie verändert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand des Arbeitspunktes von einer im Kennfeld vorgegebenen Abblaselinie erfaßt und die Differenzierzeitkonstante in Abhängigkeit von dem Abstand verändert wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Größe des Differentialanteils des Regelverhaltens relativ zum Proportional- und Integralanteil in Abhängigkeit von einer Betriebsgröße verändert wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Größe des Differentialanteils in Abhängigkeit von der Steigung der im Kennfeld vorgegebenen Abblaselinie verändert wird.
7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Größe des Differentialanteils des Regelverhaltens in Abhängigkeit vom Ausgangssignal des Reglers verändert wird.

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln von Turbokompressoren von der im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Art. Das erfindungsgemäße Verfahren ist insbesondere geeignet für die sogenannte Pumpgrenzregelung zum Verhindern des Pumpens eines Kompressors. Das kann aber auch bei anderen Regelungen wie z.B. Anti-Choke-Regelung, Turbinendrehzahlregelung usw. angewendet werden.

Ein Verfahren der genannten Art für die Pumpgrenzregelung ist aus der Veröffentlichung "Turbolog- das elektronische Regelsystem für GHH-Turbomaschinen" in Nachrichten für den Maschinenbau Heft Nr. 3, Mai 82

sowie auch aus der US-PS 41 42 838 bekannt. Ein Verfahren der genannten Art, bei der die Differentiation durch Subtrahieren des verzögerten vom unverzögerten Signal realisiert wird, ist auch aus DE-PS 28 28 124 bekannt. Unter Pumpen wird ein instabiles Verhalten eines Turbokompressors verstanden, bei dem stoßweise, bzw. periodisch das Fördermedium von der Druckseite zur Saugseite zurückströmt. Dieses Verhalten tritt bei zu kleinem Durchsatz bzw. zu hohem Druckverhältnis zwischen Kompressoraustrag und -eingang auf. Die sogenannte Pumpgrenzlinie trennt im Kennfeld des Kompressors den stabilen vom instabilen Bereich. Die Pumpgrenzregelung sorgt dafür, daß bei Annäherung des momentanen Arbeitspunktes an die Pumpgrenzlinie bzw. eine in einem Sicherheitsabstand parallel zu dieser verlaufende Abblaselinie ein Abblas- oder Umblaseventil am Kompressoraustrag geöffnet wird. Es ist bei diesem Verfahren auch bekannt, in Abhängigkeit von der Lage des Arbeitspunktes das Regelverhalten des Stellsignals für das Abblasventil erzeugenden Reglers dadurch zu verändern, daß bei Überschreiten der Abblaselinie die Regelverstärkung nicht-linear erhöht wird.

Bei Regelungen dieser Art stößt die Verwendung von Reglern mit einem das Eingangssignal differenzierenden Regelanteil auf verschiedene Schwierigkeiten. Eine dieser Schwierigkeiten ist die Tatsache, daß ein Istsignal, welches aus dem Durchfluß abgeleitet wird, einen sehr hohen überlagerten Rauschpegel aufweist und deshalb eine Differenzierung nur schwer zuläßt. Diese Schwierigkeit ist weniger ausgeprägt, wenn das Istwertsignal vom Enddruck abgeleitet wird.

Ein weiterer Nachteil bei der Verwendung eines Reglers mit Differentialanteil ist die Tatsache, daß im dem aus Druckverhältnis und Durchsatz gebildeten Kompressorkennfeld die Kennlinien konstanter Drehzahl und/oder konstanter Leitschaufelstellung gekrümmt sind. In der Nähe der Pumpgrenze verlaufen diese Kompressorkennlinien sehr flach, weit im Kennfeld dagegen steil. Dies hat zur Folge, daß die Änderung des Kompressorendrucks in der Nähe der Pumpgrenze nur sehr gering ist. Demzufolge hat auch der Differentialanteil des Reglers in der Nähe der Pumpgrenze die geringste Wirkung. Dies ist jedoch gerade der Bereich des Kennfeldes in dem ein Differentialanteil des Reglers am nötigsten gebraucht würde, um ein schnelles Ansprechen zu erreichen, weil der Kompressor in diesem Bereich am meisten gefährdet ist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der angegebenen Art so weiterzubilden, daß es die Möglichkeit einer auch und gerade in der Nähe der Pumpgrenzlinie wirksamen Regelung mit Differentialverhalten bietet.

Die Lösung der Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Die Unteransprüche beziehen sich auf weitere vorteilhafte Ausgestaltungen.

Eine Ausführungsform der Erfindung wird anhand der Zeichnung näher erläutert. Die Zeichnung zeigt schematisch und sehr vereinfacht das Schema einer Abblaseregelung.

Auf der Ansaugseite eines Kompressors *K* wird von einem ersten Istwertgeber 1 die Druckdifferenz vor und hinter einer Drosselblende erfaßt, welche gleichzeitig ein Maß für den Ansaugvolumenstrom, bzw. den Kompressordurchsatz ist. Von einem zweiten Istwertgeber 3 wird der Enddruck *P*₂ am Kompressoraustrag erfaßt. Ein Rechner 11 mit zugehörigem Speicher 13 bildet aus den Istwerten die Koordinaten des Arbeitspunktes in dem durch den Durchsatz sowie das Enddruck/Saug-

druck-Verhältnis bestimmten Kennfeld und vergleicht sie mit einer im Kennfeld vorgegebenen, abgespeicherten Abblaselinie A. Abhängig vom Enddruck wird ein Sollwertsignal für den Durchfluß erzeugt, welches im Subtrahierglied 5 mit dem Istwert verglichen und hieraus ein Eingangssignal für einen Regler 7 gebildet wird. Der Regler 7 hat einen Proportionalteil 7a, einen Differentialteil 7b und einen Integralteil 7c. Die Reglerausgangsgröße dient als Stellsignal für ein Abblaseventil 9 am Kompressoraustrag. Bei Annäherung des Arbeitspunktes des Kompressors an die Abblaselinie A wird durch entsprechendes Öffnen des Abblaseventils 9 der Durchsatz erhöht bzw. der Enddruck erniedrigt.

Im Speicher 13 ist ferner für jeden Arbeitspunkt die Steigung der durch diesen Arbeitspunkt verlaufenden Kompressorkennlinie K konstanter Drehzahl und/oder konstanter Schaufelstellung, oder auch konstanter Drosselklappenstellung im Eintritt gespeichert. Aus dem Wert der zum momentanen Arbeitspunkt gehörenden Steigung der Kompressorkennlinie erzeugt ein Steuerglied 15 ein Steuersignal, durch welches die für die Differenzierung im Differentialteil 7b wirksame Zeitkonstante Δ , geändert wird, und zwar so, daß die differenzierende Wirkung der Zeitkonstante proportional zur Steigerung der Kompressorkennlinie ist. Hierdurch wird erreicht, daß der Differentialanteil des Reglers 7 im gesamten Kennfeld etwa gleiche Wirksamkeit hat.

Anstatt in Abhängigkeit von der Steigung der Kompressorkennlinie kann die Differenzierzeitkonstante Δ , auch in Abhängigkeit vom Abstand des momentanen Arbeitspunktes von der Abblaselinie variiert werden, und zwar wiederum so, daß die differenzierende Wirkung mit kleiner werdendem Abstand zwischen Abblaselinie und Arbeitspunkt vergrößert wird und umgekehrt.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung kann die Größe der differenzierenden Wirkung, d.h. der Anteil des Differentialteils 7b im Vergleich zum Proportionalteil 7a und Integralteil 7c des Reglers verändert werden. Insbesondere kann die Größe der differenzierenden Wirkung in Abhängigkeit von der Steigung der Abblaselinie oder vom Wert des Enddrucks angepaßt werden. Es ist ferner möglich, den Differentialanteil 7b abhängig von einem Grenzwert im Reglerausgang zu oder abzuschalten. Zum Beispiel kann der Differentialanteil 7b abgeschaltet werden, wenn das Reglerausgangssignal 100% des Eingangssignals oder einen anderen vorgegebenen Wert, der einem bestimmten Abstand von der Abblaselinie entspricht, erreicht.

Der Differentialanteil 7b des Reglers kann auch so ausgebildet sein, daß er in einer Richtung, z.B. bei steigendem Eingangssignal wirksam ist, also nur positives, aber kein negatives Ausgangssignal abgeben kann.

Die Steuerung der Differenzierzeitkonstante braucht nicht exakt nach Maßgabe der tatsächlichen Kennliniensteigung zu erfolgen. Vielmehr sind Vereinfachungen möglich.

Eine Vereinfachung ergibt sich dann, wenn die Steigung der Kennlinien von einer der Kennfeldkoordinaten, also vom Druck oder vom Durchfluß abhängt, und die Kennlinien nur zu größeren Durchflüssen bzw. Drücken parallel verschoben sind. Dies ist dann der Fall, wenn die Kennlinien 2 im Bereich kleinerer Drehzahlen oder Leitschaukelstellungen relativ steil in die Pumpgrenze münden, im oberen Bereich dagegen flacher. Auch wenn die Kennlinien nicht ganz deckungsgleich sind, ist doch in vielen Fällen eine Annäherung durch

Parallelverschiebung einer Kennlinie zulässig.

In diesem Fall hängt die Steigung der Kennlinie und damit die Größe von der Differenzierzeitkonstante T_D nur noch vom Druck P bzw. Druckfluß V ab. Der Verlauf der Kennlinie kann entweder in einem Digitalspeicher abgelegt sein oder aber auch analog in einem Funktionsgeber 14 vorgegeben sein, der in der Zeichnung gestrichelt angedeutet ist. Der Eingang dieses Funktionsgebers ist der Druck, der Ausgang direkt die Größe T_D .

Weitere Vereinfachungen sind dadurch möglich, daß die Funktion nicht ideal im Funktionsgeber nachgebildet wird, sondern in Annäherung durch Geradenabschnitte. Der einfachste Fall ist eine Gerade aus zwei Abschnitten. Diese läßt sich sehr einfach dadurch realisieren, daß ab einem vorgegebenen Druck der Wert für T_D auf einen anderen Wert umgeschaltet wird.

Als weitere Ausgestaltung ist denkbar, daß abhängig vom Durchfluß zwischen verschiedenen Steigungen umgeschaltet wird. Dies kann entweder dadurch geschehen, daß auf einen weiteren Funktionsgeber mit einer anderen Funktion umgeschaltet wird, oder daß nur einzelne Parameter, z.B. die Verstärkung im gesamten Bereich oder der Knickpunkt, variiert werden.

Es gibt andere Kompressorkennfelder, bei denen die Steigung der Kennlinien in der Nähe der Pumpgrenze stets gleich oder zumindest ähnlich ist. In diesem Fall ist es möglich, die Differenzierzeitkonstante T_D abhängig vom Abstand zwischen Arbeitspunkt und Pumpgrenze oder Abblaselinie zu variieren. Der Abstand zwischen Abblaselinie und Arbeitspunkt liegt z.B. als Regeldifferenz der Abblaserregelung (Pumpgrenzregelung) vor.

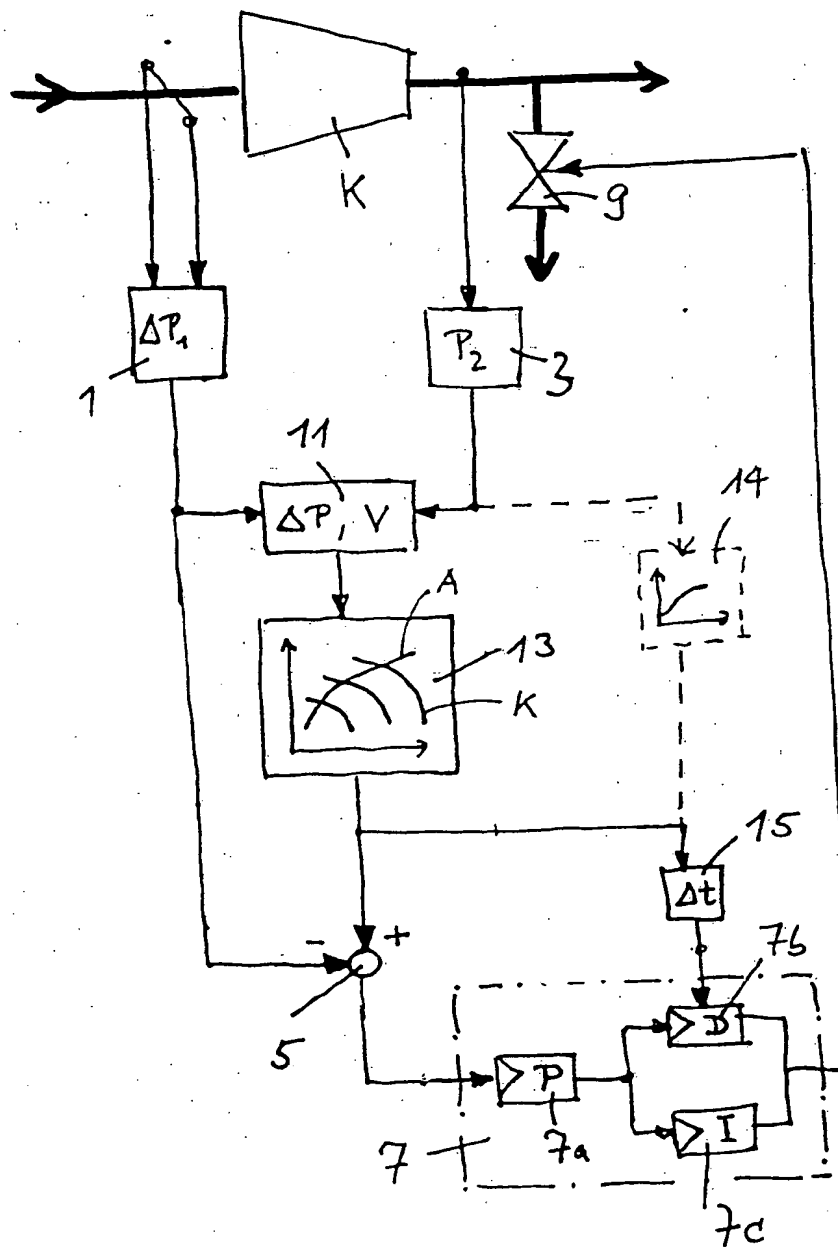
In diesem Fall kann z.B. der die Größe T_D liefernde Funktionsgeber 14 abhängig von der am Differenzierglied 5 anliegenden Regeldifferenz verstellt werden. Selbstverständlich sind auch für diesen Funktionsgeber Vereinfachungen möglich, angefangen von einer einfachen Umschaltung der Größe T_D zwischen zwei Werten über mehrere Geradenabschnitte bis hin zu einem Polgonzug.

Anstatt die Differentiation im Regler selbst vorzunehmen, kann sie auch außerhalb des Reglers erfolgen. Aus DE-PS 28 28 142 ist es bekannt, zur Erfassung der Änderungsgeschwindigkeit eines Ist-Wertes diesen Istwert, bzw. seine Differenz zum Sollwert, einmal unverzögert und einmal verzögert einem Subtrahierglied zuzuführen, so daß man die Differenz aus dem unverzögerten und verzögerten Ist-Wert als "quasi-differenziertes" Signal erhält. Ein solches Verfahren kann auch im Rahmen der Erfindung vorgenommen werden, wobei das "quasi-differenzierte" Signal einem nur Proportional- und Integralverhalten aufweisenden Regler zugeführt wird und in Abhängigkeit von der Lage des Arbeitspunktes die bei der Gewinnung des "quasidifferenzierten" Signals verwendete Verzögerungszeit verändert wird.

BAD ORIGINAL

3540087

Nummer: 35 40 087
 Int. Cl. 4: F 04 D 27/00
 Anmeldetag: 12. November 1985
 Offenlegungstag: 14. Mai 1987



ORIGINAL INSPECTED

BEST AVAILABLE COPY

708 820/381